

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



544178

(43) 国際公開日
2004 年 8 月 19 日 (19.08.2004)

PCT

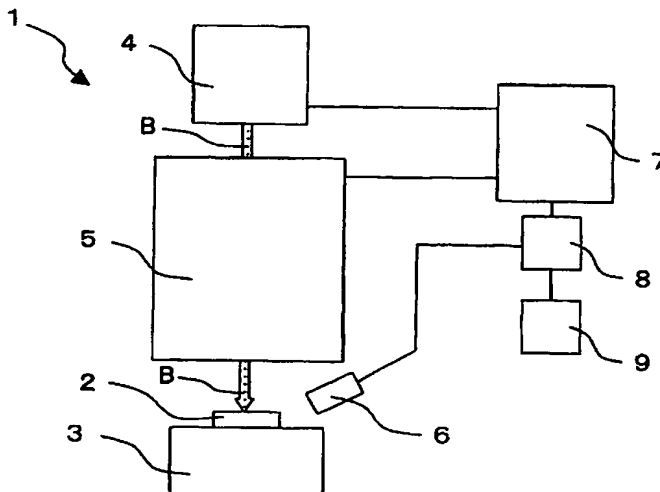
(10) 国際公開番号
WO 2004/070828 A1

- (51) 国際特許分類⁷: H01L 21/66, 21/265, 27/12, G01N 23/225
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2003/013271
- (22) 国際出願日: 2003 年 10 月 16 日 (16.10.2003)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2003-26540 2003 年 2 月 3 日 (03.02.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱住友シリコン株式会社 (SUMITOMO MITSUBISHI SILICON CORPORATION) [JP/JP]; 〒105-8634 東京都港区芝浦一丁目2番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 大久保 晶 (OKUBO, Akira) [JP/JP]; 〒105-8634 東京都港区芝浦一丁目2番1号 三菱住友シリコン株式会社内 Tokyo (JP). 近藤 英之 (KONDO, Hideyuki) [JP/JP]; 〒105-8634 東京都港区芝浦一丁目2番1号 三菱住友シリコン株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 志賀 正武, 外 (SHIGA, Masatake et al.); 〒104-8453 東京都中央区八重洲2丁目3番1号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KR, KZ, LC, LK, LR, LS,

[続葉有]

(54) Title: METHOD FOR INSPECTION, PROCESS FOR MAKING ANALYTIC PIECE, METHOD FOR ANALYSIS, ANALYZER, PROCESS FOR PRODUCING SOI WAFER, AND SOI WAFER

(54) 発明の名称: 検査方法、解析片の製作方法、解析方法、解析装置、SOI ウェーハの製造方法、およびSOI ウェーハ



(57) Abstract: A method for inspecting the internal state of an article (2) being inspected by measuring a conductor existing in an insulating base material (11) formed in the article (2) being inspected, comprising steps for irradiating the surface at a part of the base material (11) being inspected with ions or electrons and photographing the surface image by secondary electrons being emitted from the surface (11a) and the vicinity thereof, for etching the part being inspected and photographing the surface image by secondary electrons being emitted from the sequentially updated surface (11b) lower by an etched depth and the vicinity thereof, and for inspecting the internal state of the article (2) being inspected by measuring the conductor existing in the insulating base material (11) based on the accumulated surface images, thereby measuring a defect (conductor) existing in a silicon oxide film (base material) buried in an SOI wafer (article being inspected) accurately.

(57) 要約: 被検査体2に形成されている絶縁性を有する母材11に内在している導電体を測定して被検査体2の内部状態を検査する検査方法において、まず、母材11の検査部分の表面にイオンまたは電子を照射して、表面11aおよび表面付近から放出される2次電子による表面画像の撮影を行うとともに、検査部分をエツ

[続葉有]

WO 2004/070828 A1



LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI,
NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ,
SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許
(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,
GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

チングし、エッチングされた深さだけ下部の順次更新された表面11bおよび表面付近から放出される2次電子による
表面画像の撮影を行って、蓄積された表面画像に基づいて母材11に内在する導電体を測定して被検査体2の内部状
態を検査することで、SOIウェーハ(被検査体)内の埋め込みシリコン酸化膜(母材)に内在している欠陥(導電体)を正
確に測定することのできる検査方法を提供する。

明細書

検査方法、解析片の製作方法、解析方法、解析装置、
S O I ウェーハの製造方法、および S O I ウェーハ

技術分野

この発明は、基板などの被検査体の絶縁性を有する母材に内在している導電体を測定して被検査体の内部状態を検査する検査方法に関し、とくに S O I ウェーハ内の埋め込みシリコン酸化膜に内在している欠陥を測定する検査方法に関し、この検査方法に基づいた解析片の製作方法、解析方法、および解析装置、並びに S O I ウェーハの製造方法および S O I ウェーハに関する。

背景技術

一般に、絶縁膜である埋め込みシリコン酸化 (SiO_2) 膜 (BOX 層と呼ばれる) の上にシリコン (Si) 単結晶薄膜 (S O I 層と呼ばれる) を形成した S O I (Silicon On Insulator) ウェーハは、基板 (被検査体) とデバイス作製層である S O I 層とが電氣的に分離しているため、高い絶縁耐圧が得られるもので、寄生容量が低く、耐放射線能力が大きいと共に基板バイアス効果が無い等の特徴がある。このため、高速性、低消費電力、ソフトエラーフリー等の効果が期待され、次世代素子用の基板として種々の開発が行われている。

この S O I ウェーハの作製技術として代表的なものに、いわゆるウェーハ貼り合わせ技術と S I M O X (Separation by IMplanted OXygen) 技術とがある。ウェーハ貼り合わせ技術は、2 枚のウェーハの片方又は両方に酸化膜を形成しておき、酸化膜を間に 2 枚のウェーハを貼り合わせるもので、貼り合わせは、2 枚のウェーハを機械的に密着させて熱処理することにより行い、S O I 層は、貼り合わせたウェーハを研削及び研磨により鏡面加工して作製される。ウェーハ貼り合わせによる S O I 層の結晶性はバルクシリコンウェーハと同等であるため、欠陥等の問題が少なく、

S O I 層に形成するデバイスの特性に優れている。

このような S O I ウェーハの S O I 層に内在する欠陥密度などの評価方法として、S O I ウェーハをアルカリ系洗浄液で洗浄してフッ酸溶液に浸漬し、欠陥によるエッチピットを拡大した後に測定を行い評価する方法（例えば、特許文献 1 参照。）、S O I 基板とバルク S i ウェーハとを貼合せた後に表面 S i 層のみをバルク S i ウェーハ側に残し、バルク S i ウェーハを表面 S i 層側から選択エッチング液を用いてエッチングすることで結晶欠陥を顕在化させて評価する方法（例えば、特許文献 2 参照。）などが提案されている。

また、S I M O X 技術は、シリコン基板に酸素をイオン注入し、A r（アルゴン）／O₂（酸素）の雰囲気ガス中で高温熱処理することにより、酸素が過飽和に含まれている領域を B O X 層に変換（S i に酸素イオンが注入されて S i O₂を形成）するもので、B O X 層上に S O I 層が残り S O I ウェーハ（S I M O X ウェーハ）が形成される技術である。この S I M O X 技術は、ウェーハ貼り合わせ技術のように研削・研磨の工程が不要であり、比較的簡便な工程で作製することができるという利点を有している。

しかし、S I M O X 技術では、高温熱処理によりシリコン基板内部に B O X 層を形成する際、部分的に酸素がイオン注入されずに酸化されないシリコン状態のままである多数の箇所が、欠陥として発生してしまうという課題がある。このような B O X 層中の欠陥について、その密度などを評価する方法として、H F 液を用いて熱酸化膜を除去した後に T M A H 液を用いてエッチングを行うことで、S O I 層がエッチングされるとともに B O X 層中の欠陥がエッチングされてエッチピットとなり、このエッチピットを測定する欠陥の評価方法（例えば、特許文献 3 参照。）が提案されている。

また、B O X 層を含むの任意の箇所より薄膜形状の断面を有する解析片を製作し、この解析片の T E M（透過型電子顕微鏡）像の観察などから、欠陥の形状や種類な

どを解析する欠陥の解析方法が知られている。

以下に文献を列挙する。

特許文献 1：特開平 11-74493 号公報（第 3 図）

特許文献 2：特開平 11-87450 号公報（第 1 図）

特許文献 3：特開 2000-31225 号公報（第 1 図）

しかしながら、上記欠陥の評価方法による S I M O X ウェーハの検査では、直接的に欠陥を測定するのではなくて欠陥に起因するエッチピットを測定している、つまり間接的な測定であるので、正確な検査を行うことができないという問題があった。しかも、B O X 層を貫通していたり、S O I 層に接触している状態となっている欠陥しかエッチングされないので、B O X 層の内部に位置する欠陥はエッチングされずに測定することができない。つまり、B O X 層の内部に三次元的に位置する欠陥を測定することができずに、これによっても検査の正確性が低下してしまうのである。

また、上記欠陥の解析方法では、B O X 層の任意の箇所から解析片を加工するため、欠陥の密度が高い場合には解析片の中に欠陥が含まれる確率が高いが、欠陥の密度が低くなると解析片の中に欠陥が含まれる確率が低くなり、このような解析片の観察に基づいた欠陥の解析作業は著しく効率が悪いという問題があった。このように従来は、欠陥の正確な検査ができないこと、または効率的な解析ができないことにより、欠陥の発生を減少させる製造方法の条件を特定することが困難であり、欠陥が少なくても高品質な S I M O X ウェーハを製造することができなかった。同様に、ウェーハ貼り合わせ技術により作製された S O I ウェーハにおいても、欠陥を正確に評価する手法が確立していなかった。

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたもので、S O I ウェーハ（被検査体）内の埋め込みシリコン酸化膜（母材）に内在している欠陥（導電体）を正確に測定することのできる検査方法を提供し、この検査方法を利用した解析片の製法方法、欠陥の解析方法および欠陥の解析装置を提供し、欠陥の少ない高品質なS I M O X ウェーハの製造方法およびS I M O X ウェーハを提供することを目的とする。

上記課題を解決するために、この発明は以下の手段を提案している。

本発明に係る検査方法は、被検査体に形成されている絶縁性を有する母材に内在している導電体を測定して被検査体の内部状態を検査する検査方法において、前記母材の検査部分の表面にイオンまたは電子を照射して、前記表面および表面付近から放出される2次電子による表面画像の撮影を行うとともに、前記検査部分をエッチングし、エッチングされた深さだけ順次更新された下部の表面および表面付近から放出される2次電子による表面画像の撮影を行って、蓄積された前記表面画像に基づいて前記母材に内在する前記導電体を測定して被検査体の内部状態を検査することを特徴とする。

この発明の検査方法では、母材の検査部分の表面にイオンまたは電子を照射して、表面および表面付近から放出される2次電子による表面画像の撮影を行うとともに、検査部分をエッチングし、エッチングされた深さだけ順次更新された下部の表面および表面付近から放出される2次電子による表面画像の撮影を行って、深さデータごとに順次蓄積された前記表面画像に基づいて前記母材に内在する前記導電体を測定して被検査体の内部状態を検査するので、連続的に撮影される表面に対して、深さ方向へは連続的ではなくエッチングされた深さ間隔ごとに、断続的に2次電子の撮影が行われる。つまり、絶縁性を有する母材の内部に位置する導電体を直接的に測定することができるのである。これにより、正確に被検査体の内部状態を検査することができる。また、深さ間隔（エッチレート）を設定することで所望の精度の検査結果を得ることができる。

また、本発明に係る検査方法は、上述した検査方法であって、前記表面のエッチングがイオンビームで行われ、エッチングと前記表面画像の撮影とが同時に行われることを特徴とする。

この発明の検査方法では、表面のエッチングがイオンビームで行われ、エッチングと表面画像の撮影とが同時に行われる、つまり、エッチングを行うイオンビームによる２次電子の放出を検出して表面画像の撮影が行われるので、エッチングと表面画像の撮影との間で被検査体を移動させることなく被検査体の検査が行われる。これにより、検査時間を短縮することができるとともに、常に固定されている被検査体を検査することによって正確な検査結果を得ることができる。

また、本発明に係る検査方法は、上述した検査方法であって、前記被検査体がＳＯＩウェーハで、前記母材が埋め込みシリコン酸化膜で、前記導電体が欠陥であることが好ましい。

この発明の検査方法では、被検査体がＳＯＩウェーハで、母材が埋め込みシリコン酸化膜で、導電体が欠陥であるので、ＳＯＩウェーハの絶縁膜である埋め込みシリコン酸化膜に内在している導電性を有した欠陥の測定が行われる。これにより、従来は間接的に測定されていた欠陥を、直接的に測定することができる。また、従来は測定することのできなかった埋め込みシリコン酸化膜の内部に位置する欠陥を、三次元的に測定することができる。したがって、従来より正確にＳＯＩウェーハの検査を行うことができる。

また、本発明に係る検査方法は、上述した検査方法であって、前記被検査体がＳＩＭＯＸ技術で作製されたＳＯＩウェーハであることが好ましい。

この発明の検査方法では、被検査体がＳＩＭＯＸ技術で作製されたＳＯＩウェーハであるので、ＳＩＭＯＸウェーハの埋め込みシリコン酸化膜の内部に多く発生していた欠陥が正確に測定され、ＳＩＭＯＸウェーハの検査の正確性を向上させることができる。

また、本発明に係る解析片の製作方法は、上述したいずれかの検査方法を利用し

た解析片の製作方法であって、前記表面画像に基づいて前記母材に内在する任意の前記導電体を特定し、特定された該導電体の少なくとも一部を含む薄膜の解析領域が形成されるように、該解析領域となる前記母材を深さ方向に残し該解析領域以外となる前記母材をエッチングして、前記解析領域を有する解析片を製作することを特徴とする。

この発明の解析片の製作方法では、表面画像に基づいて母材に内在する任意の導電体を特定し、特定された導電体の少なくとも一部を含む所定の幅の薄膜形状となる解析領域が形成されるように、解析領域となる母材を深さ方向に残し解析領域以外となる母材をエッチングして、解析領域を有する解析片を製作するので、確実に解析領域の内部に導電体の少なくとも一部を内在させて解析片が製作される。つまり、従来は導電体の位置を特定することなく任意に解析領域を形成していたので、確実に解析領域に導電体を内在させることができなかったが、上記検査方法を利用して導電体を特定した後に解析領域を形成するので、確実に導電体が解析領域に内在する解析片が製作されるのである。また、解析領域の形成を上記検査方法に用いられているイオンビームによって行うことにより、検査と解析片の製作とを同一の装置で行うことができ、被検査体の検査から解析片の製作までの作業を一連で短時間に行うことができるとともに、特定された導電体をより確実に解析片に内在させることができる。これにより、解析片の製作コストを低減させることができ、解析片の製作効率を向上させることができる。

また、本発明に係る解析方法は、上述した解析片の製作方法により製作された解析片を利用した解析方法であって、前記解析片に含まれている前記導電体を観察して、前記導電体の状態を解析することを特徴とする。

この発明の解析方法では、解析片に含まれている導電体を観察して、導電体の状態を解析するので、確実に導電体を観察することができ、効率良く導電体の状態を解析することができる。たとえば、解析片の解析領域となる薄膜を $0.5\mu\text{m}$ 以下の厚みに形成してTEM像による観察を行い、導電体の形状や種類を解析することができる。

また、本発明に係る解析方法は、上述したいずれかの検査方法を利用した解析方法であって、蓄積された前記表面画像から前記導電体の三次元分布を解析することを特徴とする。

この発明の解析方法では、蓄積された表面画像から導電体の三次元分布を解析するので、導電体が発生しやすい傾向のある箇所を三次元的に特定することができる。たとえば、SIMOXウェーハの埋め込みシリコン酸化膜に内在している欠陥の三次元分布に基づいて、欠陥の発生が酸素のイオン注入不足によるものであるのかなどを解析することができる。

また、本発明に係る解析装置は、上述した解析方法に用いられる解析装置であって、前記被検査体が載置されるステージと、前記被検査体に照射されるイオンビームを発生させるイオン源と、イオンビームを収束および走査させるためのビーム制御手段と、前記被検査体から放出された2次電子を検出する2次電子検出手段と、イオン源およびビーム制御手段を制御する制御システムと、前記2次電子検出手段の検出結果を前記表面画像として撮影する撮影システムと、蓄積された前記表面画像から前記導電体の三次元分布を解析する解析手段とを備えていることを特徴とする。

この発明の解析装置では、被検査体が載置されるステージと、被検査体に照射されるイオンビームを発生させるイオン源と、イオンビームを収束および走査させるためのビーム制御手段と、被検査体から放出された2次電子を検出する2次電子検出手段と、イオン源およびビーム制御手段を制御する制御システムと、2次電子検出手段の検出結果を表面画像として撮影する撮影システムと、蓄積された表面画像から導電体の三次元分布を解析する解析手段とを備えているので、解析手段によって導電体の三次元分布が解析される。たとえば、従来より用いられている2次元的な表面画像の撮影システムに、順次得られるエッチングされた深さだけ更新された表面画像を蓄積させるとともに、蓄積された表面画像から三次元分布を解析する解析手段を備えるだけで、このような三次元分布を解析することができる。

また、本発明に係るＳＯＩウェーハの製造方法は、上述した解析方法を利用したＳＯＩウェーハの製造方法であって、解析された前記導電体の状態または三次元分布をフィードバックさせて特定された製造条件によって製造することを特徴とする。

この発明のＳＯＩウェーハの製造方法では、解析された導電体の状態または三次元分布をフィードバックさせて特定された製造条件によってＳＯＩウェーハを製造するので、製造条件の異なる被検査体を正確に効率良く解析して導電体が少なくなる製造条件を特定することができる。これにより、埋め込みシリコン酸化膜に内在する欠陥の少ないＳＯＩウェーハを製造することができる。

ここで、フィードバックする製造条件のパラメーターとしては、酸素注入工程におけるシリコンウェーハへの酸素イオン注入条件として注入エネルギー、酸素イオンのドーズ量、ドーズ時のウェーハの温度、さらに、酸素注入工程後の熱処理工程、酸化処理工程、アニール処理工程における昇温速度、熱処理温度、熱処理時の保持時間、降温速度、および、酸素分圧比、が適用可能である。

また、本発明に係るＳＯＩウェーハは、上述したＳＯＩウェーハの製造方法によって製造されたことを特徴とするので、欠陥が少なく高品質で、各種特性に優れている。

図面の簡単な説明

図１は、本発明の一実施形態における検査方法に使用されるＦＩＢ装置の概略構成図である。

図２Ａは、被検査体の検査状況を模式的に示した説明図である。

図２Ｂは、被検査体の検査状況を模式的に示した説明図である。

図２Ｃは、被検査体の検査状況を模式的に示した説明図である。

図２Ｄは、被検査体の検査状況を模式的に示した説明図である。

図 3 は、準三次元的な検査結果の概略図である。

図 4 A は、解析片の製作状況を示す概略図である。

図 4 B は、解析片の製作状況を示す概略図である。

図 4 C は、解析片の製作状況を示す概略図である。

図 5 A は、基板試料の S I M 像である。

図 5 B は、基板試料の S I M 像である。

図 6 A は、図 5 に示された S I M 像に付されたラインを基準とした断面の T E M 像である。

図 6 B は、図 5 に示された S I M 像に付されたラインを基準とした断面の T E M 像である。

図 7 は、本発明の実施例における酸素イオンのドーズ量と B O X 層の S i 島密度の関係を示すグラフである。

図 8 は、本発明の実施例における B O X 層の欠陥密度と B O X 層の耐圧の関係を示すグラフである。

発明を実施するための最良の形態

以下、図面を参照し、この発明の実施の形態について説明する。

図 1 は、基板試料（被検査体）を検査する F I B（収束イオンビーム）装置の概略構成図で、F I B 装置は、S I M（走査型イオン顕微鏡）像の撮影、T E M のサンプルの作製、またはフォトマスクの欠陥修正などに使用される装置である。F I B 装置 1 は、基板試料 2 が載置される試料ステージ 3 と、基板試料 2 に照射されるイオンビーム B を発生させるイオン源 4 と、イオンビーム B を収束および走査させるためのビーム制御手段 5 と、基板試料 2 から放出された 2 次電子を検出する 2 次電子検出器 6 と、イオン源 4 およびビーム制御手段 5 を制御する制御システム 7 と、2 次電子検出器 6 の検出結果を表面画像として撮影する撮影システム 8 と、蓄積された表面画像から導電体の三次元分布を解析する解析手段 9 とを備えて構成されている。ビーム制御手段 5 は、コンデンサレンズや X Y デフレクタなどを備えてお

り、イオンビームBの収束点を基板試料2のZ方向に制御し、イオンビームBを測定部分のXY方向に走査制御する装置である。

上述したようなFIB装置1による基板試料2の検査は、約 10^{-4} Pa以下の真空の雰囲気とされたチャンバー内で行われ、イオンビームBとしてはGa⁺イオンが用いられる。基板試料2としては、ウェーハ貼り合わせ技術またはSIMOX技術などで作製されたSOIウェーハが用いられ、図2Aに示すようなシリコン基板10の上面にBOX層（埋め込みシリコン酸化膜）11が形成され、BOX層11の上面にSOI層（シリコン単結晶薄膜）12が形成されている。また、基板試料2はSOI層12を上方に向けて試料ステージ3に載置され、検査の前段階において、図2Bに示すようにBOX層11の検査部分の上面のSOI層12が除去されて、BOX層11の表面11aが露出される。

基板試料2の検査において、イオン源4から基板試料2に向けて照射されたイオンビームBはビーム制御手段5によって制御され、イオンビームBによってBOX層11の表面11aがエッチングされる。このときにエッチングされるBOX層11のエッチレート、つまり時間当たりのエッチング量は、イオンビームBの加速電圧および電流密度によって決定され、たとえば加速電圧が30 keV、イオンビーム電流値が320 pA、イオンビーム径が54 nmの場合に、約15 nm/分のエッチレートでエッチングされる。そして、エッチングの際にBOX層11から放出された2次電子が、2次電子検出器6によって検出される。

このとき、シリコン酸化膜（母材）よりシリコン（導電体）が放出する2次電子が多いので、BOX層11に内在している欠陥（酸化されずに島のように点在しているシリコンの塊、以下シリコン島という）が測定される。つまり、2次電子検出器6からの検出結果が撮影システム8によってSIM像（表面画像）とされ、暗いBOX層11の内部でシリコン島が光るようなSIM像が撮影されるのである。このときのSIM像の解像度はイオンビームBの電流値によって決定され、たとえば80 pAの場合に約50 nmの解像度が得られる。また、イオンビームBによって表面11aだけから2次電子が放出されるのではなく、表面11aから若干BOX層

11の内部に入った表面付近からも2次電子が放出され、SIM像には表面11aおよび表面付近の情報も含まれている。

つぎに、図2Cに示すように、エッチングされたBOX層11の表面11bをイオンビームBによってエッチングするとともに、2次電子を検出して表面11bのSIM像が撮影される。そして、図2Dに示すように、シリコン基板10の表面10aが露出するまで、順次、BOX層11のエッチングされた各表面のSIM像が蓄積される。

このような基板試料2の検査方法によって、図3に概略的に示すようにBOX層11の各深さ位置におけるSIM像Z1～Z4が得られる。

たとえば、SIM像Z1(X-Y平面)が表面11a、SIM像Z2が表面11bに対応し、順次、厚み方向(Z方向)に断続的に蓄積された検査結果となっている。これにより、Z方向に貫通しているシリコン島(シリコン島像S1)を測定できるだけでなく、表面11aに露出していないBOX層11の内部に位置するシリコン島(シリコン島像S2)や、Z方向に大きさが異なるシリコン島(シリコン島像S3)を測定することができる。このように、直接的に測定するので、検査の正確性を向上させることができる。また、エッチング量を減少させて、SIM像撮影を高頻度で行うことにより、Z方向の検査情報の正確性をさらに向上させる事ができる。

また、検査はFIB装置1によってエッチングとSIM像の撮影とを同時に行うので、一台の装置で短時間で検査することができるとともに、エッチングとSIM像の撮影との間で基板試料2を移動させる必要がなくて常に基板試料2が固定されているので、より正確な検査結果を得ることができる。

また、この検査方法は、基板試料2としてSOIウェーハのようにBOX層11とシリコン島との2次電子放出度が大きく異なる場合に有効で、とくに、シリコン島を多く包含するSIMOXウェーハの検査に適している。

つぎに、上記検査方法を利用した解析片の製作方法について図4を用いて説明する。

まず、図4Aに示すように基板試料2の上方からイオンビームBを照射して基板試料2の検査を行うと、図4Bに示すように検査部分13がエッチングされる。そして、解析の対象となるシリコン島が特定されるまで検査部分13がエッチングされ、シリコン島を特定するとその表面にマーキング14を施す。つぎに、薄膜（解析領域）16を形成するためにマーキングされた箇所を含み一定の厚みXとなる領域15を特定し、厚みXが $0.5\mu\text{m}$ 以下で残存するように領域15以外の部分をエッチングする。つまり、特定されたシリコン島が薄膜16に内在するように、薄膜16の表裏面に位置する基板試料2の部分をエッチングによって除去し、図4Cに示すような薄膜16の表裏面が基板試料2の側方に露出するように解析片17が製作されるのである。

このように、この解析片の製作方法によって確実に薄膜16にシリコン島が内在する解析片17を製作することができ、従来より解析作業の効率を向上させることができる。また、従来はシリコン島が内在しない解析片を製作してしまうなど、無駄となってしまう作業が多くて製作コストが高くなっていたが、この解析片の製作方法により低コストで解析片を製作することができる。

このように形成された解析片17は、TEMによって図4Cに示す矢印Eの方向から電子が照射され、薄膜16に内在するシリコン島が撮影される。図5Aおよび図5Bに、エッチングされた基板試料2のSIM像を示し、図6Aに図5AのSIM像に付されているラインLを基準とした断面におけるTEM像を示し、図6Bも同様に対応した図5BのTEM像を示す。図5は、各辺が $20\mu\text{m}$ で、SIM像の中の黒いコントラストがBOX層で、白いコントラストがシリコン島である。図6は、右下に示すスケールが $0.05\mu\text{m}$ で、白いコントラストのBOX層の中に影のようにシリコン島Sが現れている。また、このように形成された解析片17のTEM像には、図6A、図6Bに示すように、必ずエッチングによるダメージ面Dが

撮影されている。そして、撮影されたTEM像の観察より、欠陥の形状および内部状態、つまりシリコン島の形状や種類（単結晶またはポリ結晶）などの状態を解析することができる。

また、上述した検査方法によって得られた蓄積されたSIM像から解析装置9によってシリコン島の三次元分布を解析することができる。つまり、従来はSIM像によるX-Y表面の解析しか行われなかったが、FIB装置1に解析装置9を備えることで、X-Y表面のデータにZ方向のデータを組み合わせて三次元的なシリコン島の分布を解析することや、X-Y表面以外の任意の断面の解析を行うことができるのである。

このように、TEM像から得られる個々のシリコン島の状態に基づいたシリコン島の解析結果と、SIM像から得られるシリコン島の三次元分布に基づいた解析結果とを、SOIウェーハの製造条件にフィードバックさせることにより、シリコン島の発生を抑制することのできるSOIウェーハの製造条件を特定することができる。たとえば、SIMOXウェーハの場合には、シリコン島の三次元分布に基づいて、シリコン島の発生が多い傾向のある箇所への酸素のイオン注入量を増加させる際の、注入エネルギーの増加量などの条件を特定することができる。これにより、埋め込みシリコン酸化膜に内在するシリコン島の少ないSOIウェーハを製造することができる。また、この製造方法によって製造されたSOIウェーハは、精密でかつ高品質で、各種特性に優れている。また、SOIウェーハ製造の歩留まりを向上させることもできる。

なお、本実施の形態においては、基板試料2としてSOIウェーハ、基板試料2に形成されている絶縁性を有する母材としてBOX層11を用いているが、この検査方法で用いることのできる母材として、窒化物、酸化物、および有機高分子などの一般的に絶縁性を有する材料であればよく、基板試料2としてガラス、セラミックス、および酸化物半導体などの基板を検査することができる。また、このような基板以外の被検査体として、レーザー結晶、SAW（表面弾性波素子）、フォトク

ロミックガラスや金属ナノ粒子含有カラーフィルターなどを用いることができ、これらの内部構造を検査することもできる。また、イオンビームBとしてGa⁺以外に、O⁺、Cs⁺、Ar⁺などを用いてもよく、2次電子を撮影する手段としてSEM、STEM、TEMを用いてもよく、エッチングを行う手段としてケミカルエッチングを用いてもよい。また、FIB装置1において、イオンビーム加速電圧が15～40keVの範囲で、イオンビーム電流値が3.6pA以上で、イオンビーム径が18nm以上であれば、良好にシリコン島を測定することができた。

実施例

以下、本発明に係る実施例を説明する。

実施例として、後述する条件でシリコンウェーハに酸素注入後、シリコンウェーハを熱処理炉に移し、昇温工程で1℃/分の昇温速度で1340℃まで昇温し、酸化処理工程で1340℃に10時間保持し、アニール処理工程で1340℃に5時間保持した後、降温工程で1℃/分の降温速度で600℃まで降温して、SOIウェーハを製造した。

ここで、熱処理炉に移してから、降温工程終了600℃まで、酸化処理工程を除き、熱処理炉に分圧比4%の酸素を含むアルゴンガスも25slm供給し続けるとともに、酸化処理工程では熱処理炉に分圧比40%の酸素を含むアルゴンガスを25slm供給して処理をおこなった。

酸素注入工程におけるシリコンウェーハへの酸素イオン注入条件としては、注入エネルギー163eVとして固定し、酸素イオンのドーズ量を $1.75 \sim 2.50 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^2$ 範囲で変化させた。

このときのSOIウェーハから上述した実施形態の検査方法により、BOX層のSi島密度を測定し、その3次元分布より見積もって、酸素イオンのドーズ量とBOX層のSi島密度の関係を解析した。その結果を図7に示す。

また、このとき、BOX層の欠陥密度とBOX層の耐圧の関係を解析した。その結果を図8に示す。

ここで、BOX層のSi島密度のFIB測定条件としては、加速電圧30KeV、プローブ電流値1.3nA、プローブ径92nm ϕ とした。

図7の結果から明らかなように、酸素イオンのドーズ量を大きくするとBOX層のSi島密度が高くなるので、酸素イオンのドーズ量をできるだけ低くしたほうがBOX層のSi島の発生を押さえられることがわかる。

同時に、BOX層は、酸素イオンのドーズ量を $1.70 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^2$ よりも低くした場合に、その厚みが一定に形成されず、さらに、 $1.50 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^2$ よりも低くした場合には、ウェーハ面内方向でBOX層が形成されない部分が発生する。従って、BOX層厚が均一にならないので、酸素イオンのドーズ量を $1.75 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^2$ 辺りに特定するのがプロセス条件として適当と判断できる。これにより特定された酸素注入工程における酸素イオンのドーズ量を $1.75 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^2$ 程度に設定するよう製造条件をフィードバックしてSOIウェーハを製造することができる。

さらに、図8の結果から明らかなように、上記のように $1.75 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^2$ 程度に特定された製造条件をフィードバックして製造されたSOIウェーハは、BOX層における耐圧が高くなっており、品質的にも良好であることがわかる。

なお、酸素イオンのドーズ量を $1.75 \sim 2.50 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^2$ の範囲で下げるとSi島のサイズもそれに付随して小さくなる傾向があるので、絶縁破壊が起こりにくくなり、この製造条件で製造されたSOIウェーハが品質的にも良好になることがわかる。

以上説明したように、本発明に係る検査方法によれば、母材の検査部分の表面にイオンまたは電子を照射して、表面および表面付近から放出される２次電子の撮影を行い、順次、検査部分をエッチングしつつ、エッチングされた表面および表面付近から放出される２次電子の撮影を行って、これらの蓄積された表面画像に基づいて母材に内在する導電体を測定して被検査体の内部状態を検査するので、母材に内在する導電体を直接的に測定することができる。これにより、三次元的に被検査体の内部状態を正確に検査することができる。

請求の範囲

1. 被検査体に形成されている絶縁性を有する母材に内在している導電体を測定して被検査体の内部状態を検査する検査方法において、

前記母材の検査部分の表面にイオンまたは電子を照射して、前記表面および表面付近から放出される2次電子による表面画像の撮影を行うとともに、前記検査部分をエッチングし、エッチングされた深さだけ順次更新された下部の表面および表面付近から放出される2次電子による表面画像の撮影を行って、

蓄積された前記表面画像に基づいて前記母材に内在する前記導電体を測定して前記被検査体の内部状態を検査することを特徴とする検査方法。

2. 請求項1に記載された検査方法であって、

前記表面のエッチングがイオンビームで行われ、該エッチングと前記表面画像の撮影とが同時に行われることを特徴とする検査方法。

3. 請求項1または請求項2に記載された検査方法であって、

前記被検査体がSOIウェーハであり、前記母材が埋め込みシリコン酸化膜であり、前記導電体が欠陥であることを特徴とする検査方法。

4. 請求項1から請求項3のいずれかに記載された検査方法であって、

前記被検査体がSIMOX技術で作製されたSOIウェーハであることを特徴とする検査方法。

5. 請求項1から請求項4のいずれかに記載された検査方法を利用した解析片の製作方法であって、

前記表面画像に基づいて前記母材に内在する任意の前記導電体を特定し、特定された該導電体の少なくとも一部を含む薄膜の解析領域が形成されるように、該解析領域となる前記母材を深さ方向に残し該解析領域以外となる前記母材をエッチングして、前記解析領域を有する解析片を製作することを特徴とする解析片の製作方

法。

6. 請求項5に記載された解析片の製作方法により製作された解析片を利用した解析方法であって、

前記解析片に含まれている前記導電体を観察して、前記導電体の状態を解析することを特徴とする解析方法。

7. 請求項1から請求項4のいずれかに記載された検査方法を利用した解析方法であって、

蓄積された前記表面画像から前記導電体の三次元分布を解析することを特徴とする解析方法。

8. 請求項7に記載された解析方法に用いられる解析装置であって、

前記被検査体が載置されるステージと、前記被検査体に照射されるイオンビームを発生させるイオン源と、イオンビームを収束および走査させるためのビーム制御手段と、前記被検査体から放出された2次電子を検出する2次電子検出手段と、イオン源およびビーム制御手段を制御する制御システムと、前記2次電子検出手段の検出結果を前記表面画像として撮影する撮影システムと、蓄積された前記表面画像から前記導電体の三次元分布を解析する解析手段とを備えていることを特徴とする解析装置。

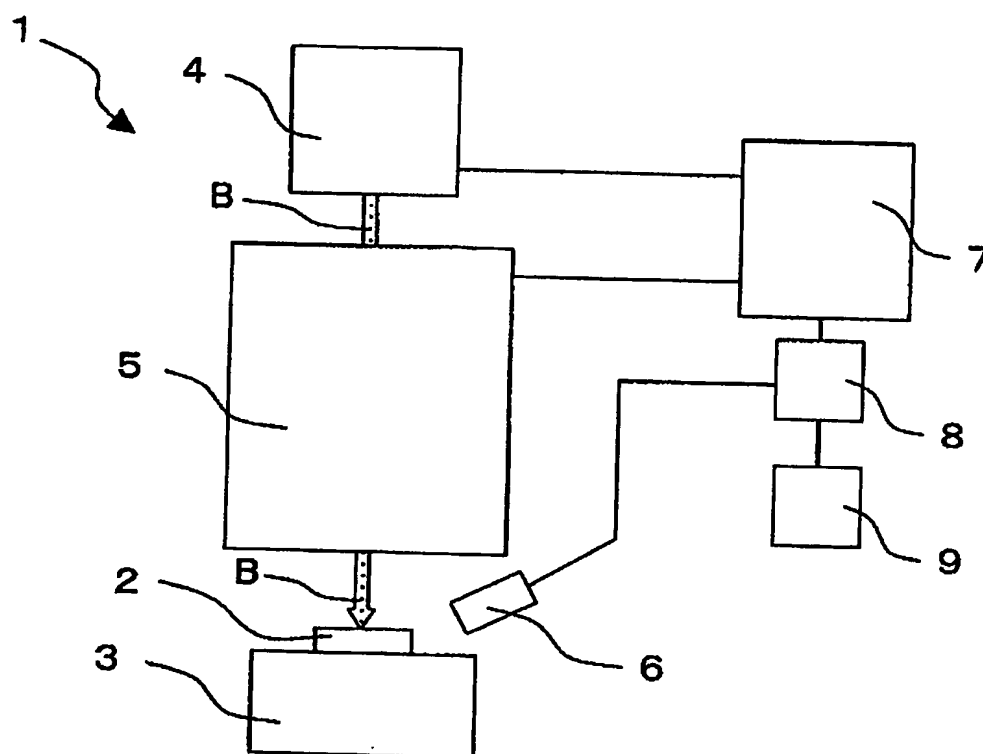
9. 請求項6または請求項7に記載された解析方法を利用したSOIウェーハの製造方法であって、

解析された前記導電体の状態または三次元分布をフィードバックさせて特定された製造条件によって製造することを特徴とするSOIウェーハの製造方法。

10. 請求項9に記載されたSOIウェーハの製造方法によって製造されたことを特徴とするSOIウェーハ。

1/7

図 1



2/7

図 2 A

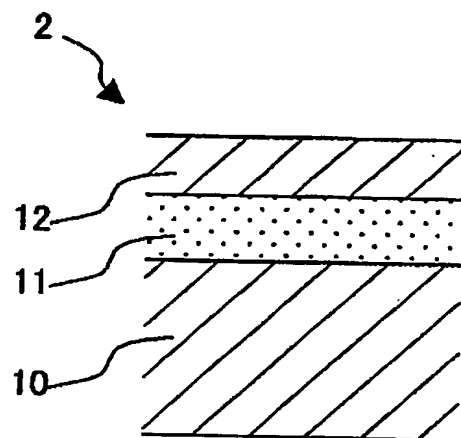


図 2 B

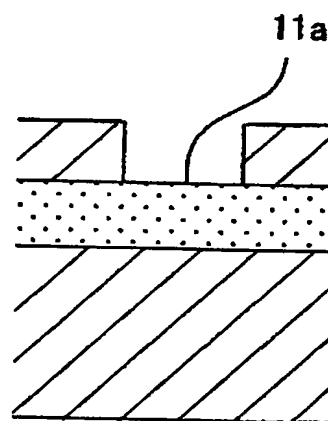


図 2 C

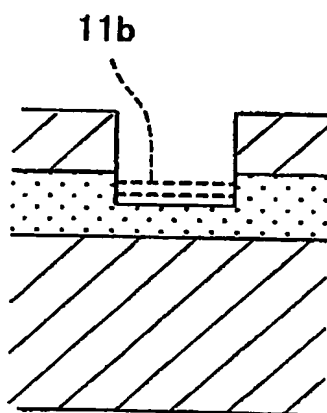
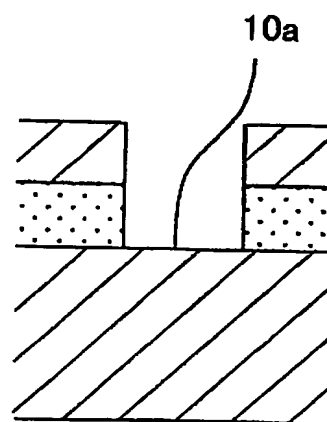


図 2 D



3/7

図 3

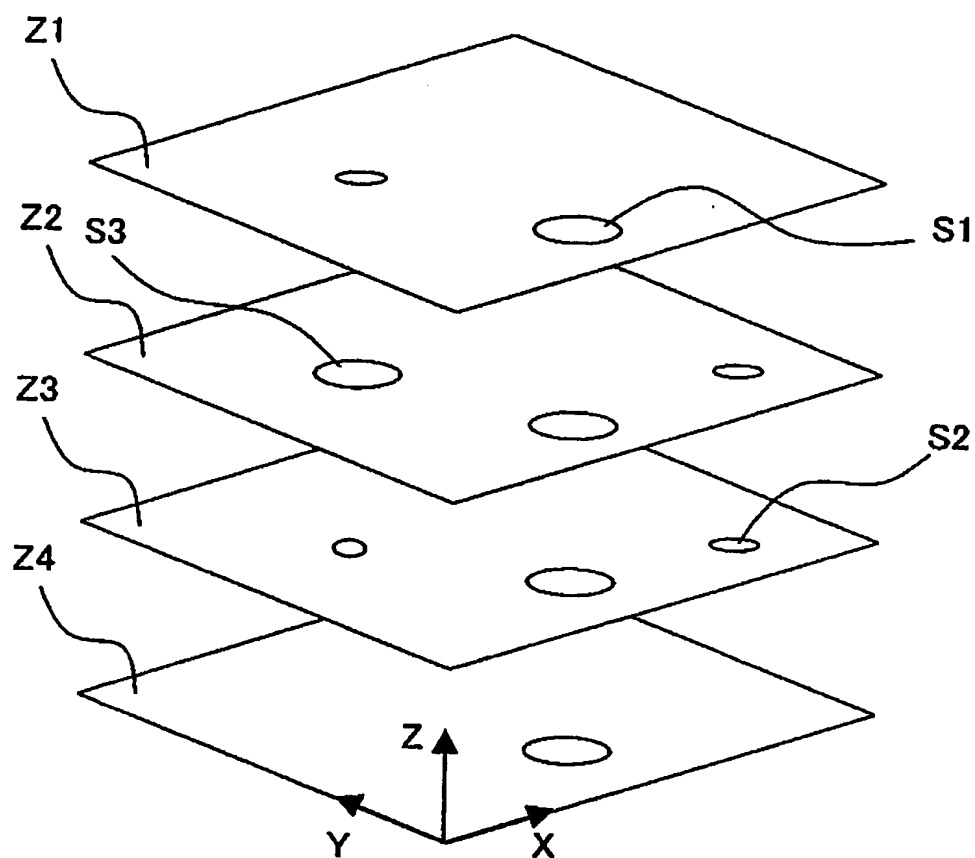


図 4 A

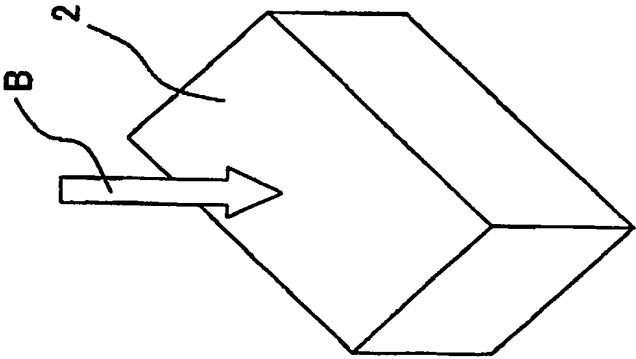


図 4 B

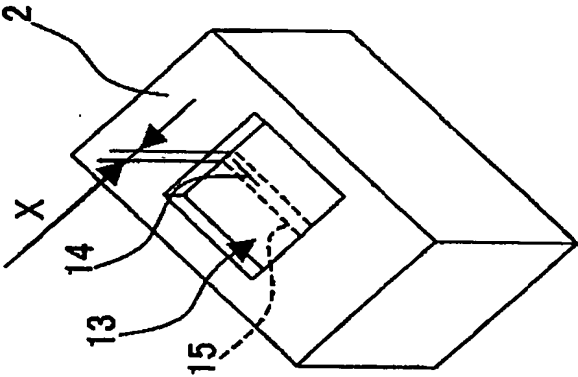
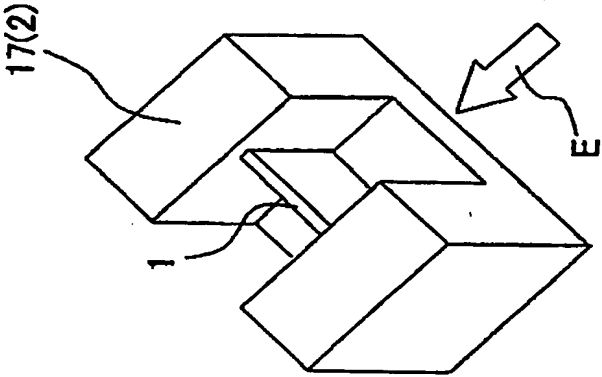


図 4 C



5/7

図 5 A

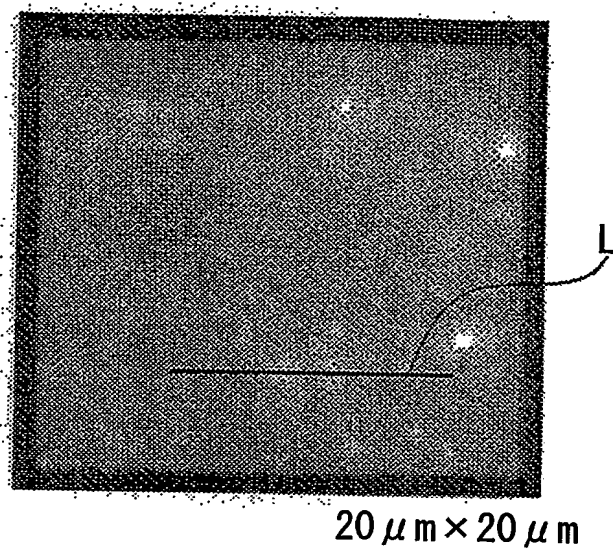
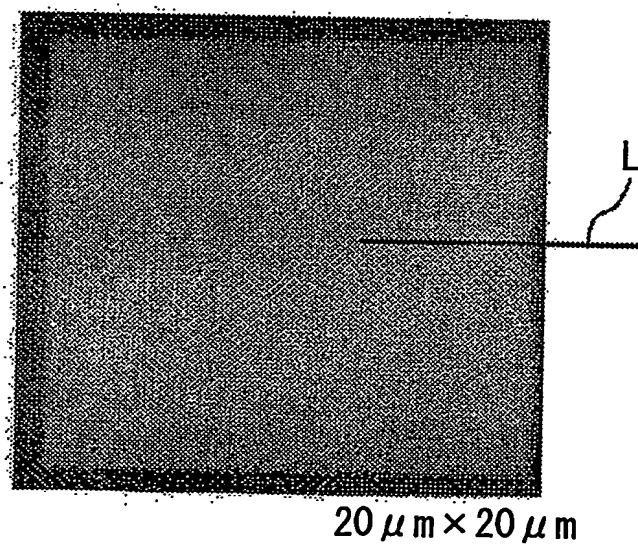


図 5 B



6/7

図 6 A

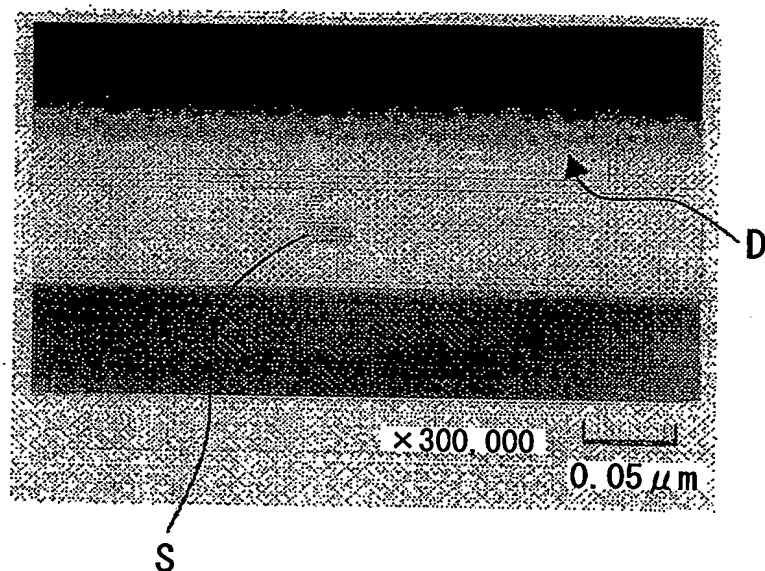
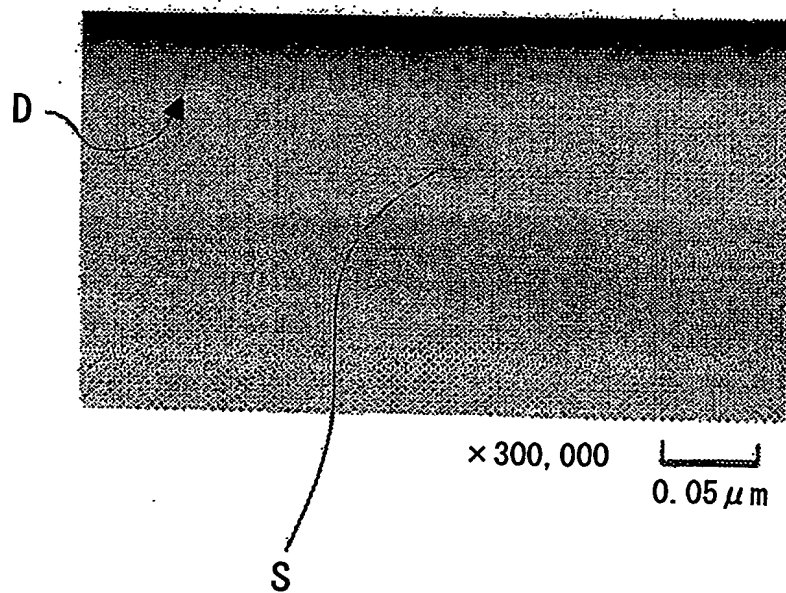


図 6 B



7/7

図 7

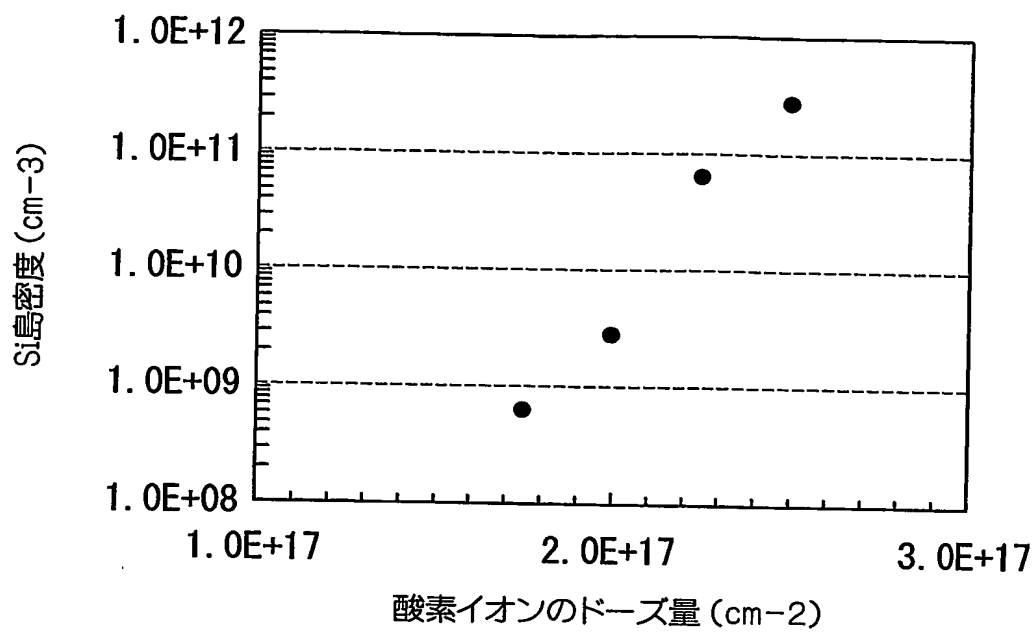
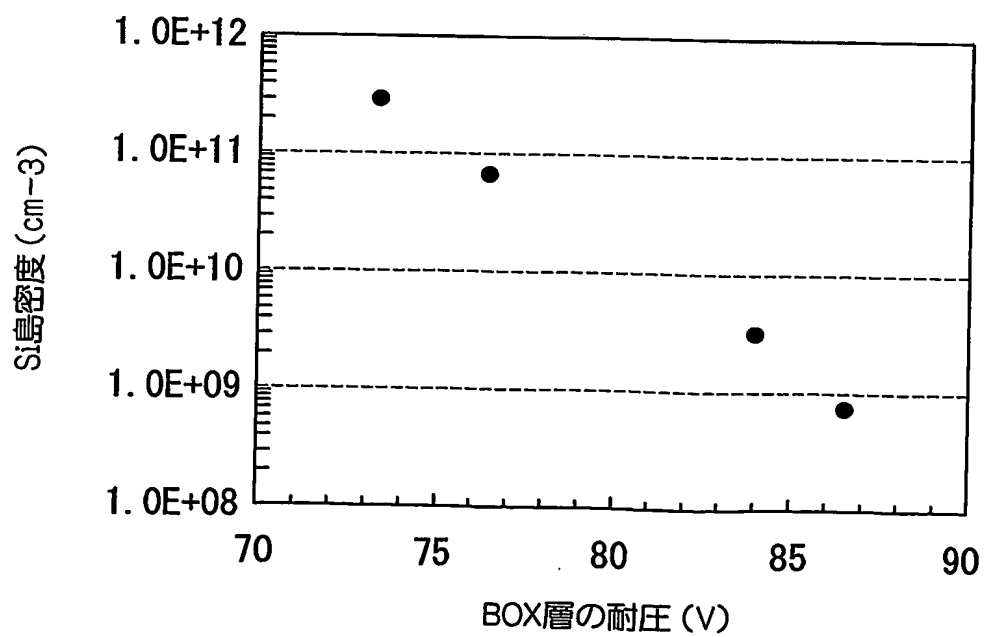


図 8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/13271

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01L21/66, 21/265, 27/12, G01N23/225

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01L21/66, 21/265, 27/12, G01N23/225

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	"Saishin Kotai Hyomen/Bisho Ryoiki no Kaiseki-Hyoka Gijutsu", Riaraizu Sha, 31 March, 1991 (31.03.91), pages 95 to 104; particularly, pages 100 to 103	1-10
Y	EP 738004 A (Nippon Steel Corp.), 16 October, 1996 (16.10.96), Column 8, line 11 to column 9, line 23; Figs. 5A to 5C & JP 7-201975 A Par. No. [0019]; Fig. 5	1-10
Y	JP 2001-319954 A (Nippon Steel Corp.), 16 November, 2001 (16.11.01), Par. No. [0019]; Figs. 1, 5 (Family: none)	5, 6

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
20 January, 2004 (20.01.04)

Date of mailing of the international search report
03 February, 2004 (03.02.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JPO3/13271

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int. Cl⁷ H01L 21/66, 21/265, 27/12
 G01N 23/225

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01L 21/66, 21/265, 27/12
 G01N 23/225

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	最新固体表面/微小領域の解析・評価技術, リアライズ社, 1991.03.31, p.95-104. 特にp.100-103	1-10
Y	EP 738004 A(Nippon Steel Corporation), 1996.10.16, 第8欄第11行-第9欄第23行, 第5A-5C図 & JP 7-201975 A, 第19段落, 第5図	1-10
Y	JP 2001-319954 A(新日本製鐵株式会社), 2001.11.16, 第19段落, 第1,5図(ファミリーなし)	5,6

☐ C欄の続きにも文献が列举されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

20.01.2004

国際調査報告の発送日

03.2.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

関 和郎

4 R

3031

電話番号 03-3581-1101 内線 3469